ANÁLISE COMPARATIVA DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO OBTIDOS ATRAVÉS DE CARTAS TOPOGRÁFICAS E PELO SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM)

Amanda ODELIUS Teixeira Pinto1
Osmar Abílio de CARVALHO JUNIOR2
Renato Fontes GUIMARÃES3
Roberto Arnaldo Trancoso GOMES4

RESUMO

A ação degradadora do homem com o emprego de tecnologia inadequada aos diferentes tipos de uso da terra vêm modificando as características geo-ambientais. A partir disso, cada vez mais ocorre a necessidade de se entender esta paisagem e os processos que nela ocorrem. Neste intuito, nos últimos anos o modelo digital de terreno (MDT) vem se destacando por objetivar a representação discreta da superfície terrestre numa representação computacional tratável. Os MDTs buscam descrever a superfície real de modo idealizado e permitem estabelecer visões tridimensionais do relevo. Dentre as aplicações mais conhecidas dos MDTs destaca-se a obtenção de parâmetros morfométricos (como orientação de vertentes, declividade, área de contribuição, cálculo de volumes, visibilidade de pontos, geração de perfis, visualização tridimensional, entre outros). Diversos problemas são encontrados na geração dos modelos, uma vez que existem diversas maneiras de se elaborar um MDT. O objetivo desse trabalho é comparar o MDT obtido do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) com o MDT gerado a partir de cartas topográficas. O MDT do SRTM é proveniente da interferometria de radar, em que duas imagens são adquiridas a partir de pontos de vista diferentes, permitindo a determinação da altimetria pixel a pixel. Os dados do SRTM têm uma limitação na escala devido ao tamanho dos pixels de 90 metros, portanto sua aplicação se dá somente em nível regional. Os dados obtidos através do SRTM apresentam alguns ruídos tais como a presença de picos (valores extremamente altos) e vórtices (valores extremamente baixos) que precisam ser tratados com filtros específicos, e a má definição dos corpos d'água e das linhas de costas. O MDT obtido das cartas topográficas foi feito a partir do módulo TOPOGRID do software ArcInfo em que, desenvolve um MDT voltado para hidrologia combinando diferentes técnicas de interpolação. De acordo com diversos autores, este método de interpolação é o mais eficaz na interpolação de dados topográficos a partir de cartas topográficas. A área de estudo é a bacia do rio São Bartolomeu, localizado na região centro-oeste do Brasil. A base cartográfica utilizada está na escala 1:100.000 com curvas de nível, pontos cotados e rede de drenagem. Foram efetuados a correção e edição dos dados referentes às curvas de nível, pontos cotados e hidrografia, com correção da direção de fluxo. Os dados do SRTM foram tratados a partir da aplicação de filtros para a eliminação dos ruídos, como destacado anteriormente, para posterior comparação. Os resultados demonstram que o MDT obtido pelo SRTM apesar de algumas limitações em comparação com o MDT elaborado pelas cartas topográficas, apresenta grande potencial em estudos geomorfológicos, em escalas regionais e áreas ainda não cartografadas. pelas cartas topográficas, o modelo obtido a partir do SRTM apresenta grande potencial.

[1] Universidade de Brasília (UnB), estudante, amandaodelius@yahoo.com
[2] Universidade de Brasília (UnB) Professor Adjunto, Pesquisador do CNPq, osmarjr@unb.br
[3] Universidade de Brasília (UnB), Professor Adjunto, Pesquisador do CNPq, renatofg@unb.br
[4]Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), doutorando, ratgomes@ig.com.br

INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto vem evoluindo, nas últimas décadas, e se tornando uma das maiores fontes de informação da superfície terrestre para estudos de características geo-ambientais (Thoutin apud Santos et al, 2005). Atualmente a ação degradadora do homem com o emprego de tecnologia inadequada aos diferentes tipos de uso da terra vêm modificando as características geo-ambientais naturais. Por esse motivo verifica-se a utilização cada vez mais freqüente de modelos que visam monitorar a superfície terrestre (Jarvis et al, 2004). Com o contínuo processo de modificação das feições geo-ambientais naturais, cada vez mais é necessário se desenvolver e aplicar metodologias que possibilitem a identificação de padrões geomorfológicos na paisagem e, conseqüentemente, favoreça o estudo da vulnerabilidade ambiental de bacias hidrográficas.

Para os países tropicais o advento de imagens de satélites é de grande valia, pois na maioria desses países os mapas topográficos foram feitos manualmente a partir de fotografias aérea (Jarvis et al., 2004), podendo conter uma série de erros devido à utilização de técnicas ultrapassadas, erro humano, imprecisões devido à alta concentração de nuvens na zona tropical e carência de verba para geração dos dados.

O constante avanço tecnológico permite que várias imagens sejam criadas, testadas e comparadas, permitindo assim que os pesquisadores tenham cada vez mais dados e modelos que se aproximam da dinâmica das superfícies. Por ser difícil estabelecer um arranjo que descreva toda a complexidade das superfícies foram desenvolvidos inúmeros métodos para a descrição e análise dos atributos morfométricos, utilizados na caracterização dos processos hidrológicos, geomorfológicos, pedológicos e biogeográficos (Goodchild et al., 1993; Hardisty et al., 1993; Zhang & Montgomery, 1994; entre outros).

Dentre as diversas técnicas, destaca-se o modelo digital de terreno (MDT), que permite a simulação do relevo em ambiente computacional utilizando matrizes representativas do comportamento natural da superfície, permitindo uma visualização tridimensional do relevo (Goodchild et al., 1993; Guimarães, 2000; Ramos, 2003). O MDT é uma importante base de dados pois nos fornece parâmetros morfológicos tais como a tipologia do terreno, o gradiente de inclinação das vertentes, a rede de escoamento superficial, a compartimentação geomorfológica, entre outros (Jarvis et al., 2004). Para a obtenção de um bom MDT é fundamental que os dados utilizados sejam confiáveis a fim de manter uma fidelidade a realidade do terreno.

A obtenção de MDTs pode ser realizada por diversos métodos, desde uma restituição direta a partir de fotos aéreas até o tratamento digital de imagens de radar, ou de satélites estereoscópicos, como o SPOT e o ASTER (Goodchild et al., 1993). Há também a possibilidade de gerar um MDT através de cartas topográficas, em que os dados de altimetria (curvas de nível e pontos cotados) e hidrografia podem ser interpolados em ambiente computacional com o objetivo de transformá-los em *grids* com informação regularmente distribuída.

A missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) trouxe um grande avanço na aquisição de dados topográficos, pois permitiu que dados altimétricos fossem obtidos a partir de um único sobrevôo que recobriu 80% da superfície terrestre em apenas 11 dias, entre as latitudes de 60^{o} Norte e 56^{o} Sul (USGS, 2005). O sobrevôo forneceu modelos tridimensionais de alta qualidade e com duas resoluções espaciais, de 1 arc sec (30 metros) e de 3 arc sec (90 metros), com *datum* horizontal WGS84 e *datum* vertical WGS84/EGM96, com acuidade vertical relativa entorno de 20 metros (USGS, 2005). A aquisição de dados de forma contínua (de dia e de noite e com cobertura de nuvens) dentro de uma mesma metodologia garantiu a obtenção homogênea de dados ao longo de todo o globo, tornando o SRTM uma importante ferramenta para os estudos da superfície terrestre (Santos et al., 2005; USGS, 2005; van Zyl, 2001; Rabus et al, 2003; Smith. & Sandwell, 2003). As informações obtidas a partir do SRTM utilizam-se de uma tecnologia denominada

interferometria de radar, em que duas imagens são adquiridas a partir de pontos de vista diferentes, permitindo a determinação da altimetria *pixel* a *pixel* (USGS, 2005).

Os dados SRTM geram um MDT de grande qualidade ainda que apresente falhas tais como: (a) a falta de dados (buracos) em algumas áreas; (b) presença de picos (valores extremamente altos) e vórtices (valores extremamente baixos), e (c) má definição dos corpos d'água e das linhas de costas (Jarvis et al., 2004; Kaab, 2004; Lu et al, 2004; Rabus et al., 2003; USGS, 2005). Para solucionar o problema da inexistência de dados foram propostas as seguintes metodologias: (a) fusão dos modelos de elevação SRTM e ASTER (Kaab, 2004) e (b) interpolação para preencher os buracos (Jarvis et al., 2004 e Valeriano, 2004; 2005). A minimização dos efeitos de picos e vórtices podem ser obtida pelo emprego de uma série de filtros espacias. No entanto, deve-se salientar que a filtragem proporciona uma suavização generalizada no relevo, por não distinguir os artefatos (pontes, torres, árvores, entre outros) das feições reais, causando assim uma impressão falsa da topografia (Valeriano, 2004).

A checagem da acuidade vertical do SRTM pode ser realizada marcando pontos de referências através do GPS e conferindo a altimetria do modelo com a realidade altimétrica do local (Jarvis et al., 2004; Lu et al, 2004; Santos et al, 2005, Smith. & Sandwell, 2003). Para averiguar a precisão vertical relativa Smith & Sandwell (2003) fizeram uma análise espectral cruzada entre os modelos SRTM, NED e ALSM????, e após definir a precisão vertical utilizaram filtros e realizaram o fracionamento dos dados a fim de obter uma melhor resolução espacial.

Tanto Jarvis et al. (2004) quanto Valeriano (2004) optaram por aumentar a resolução espacial com intuito de avaliar a qualidade de detalhamento dos dados SRTM. Valeriano (2004) recomenda que para uma boa delimitação da rede de drenagem, deve-se utilizar a interpolação da carta topográfica como dado primário e os dados do SRTM como complementares.

Com o propósito de comparar os MDTs Santos et al. (2005) realizam a subtração dos modelos SRTM e carta topográfica, em ambiente ArcView, gerando assim uma imagem diferença. Esta é reclassificada visando identificar as regiões onde ocorrem discrepâncias entre os modelos. Os autores concluíram que as maiores diferenças altimétrica ocorreram em áreas próximas a corpos d'água.

O objetivo do presente trabalho é analisar dois MDTs referentes a bacia hidrográfica do Rio São Bartolomeu – (DF) confeccionados por métodos distintos: (a) Shuttle Radar Topography Mission – SRTM, (b) por interpolação de dados topográficos utilizando o TOPOGRID (ESRI, 1993) e (c) interpolação dos dados do SRTM.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia de estudo possui aproximadamente 5.334 Km² e é composta por região de chapada, área de dissecação intermediária e região dissecada de vales (Novaes Pinto, 1993). Quanto a composição da rede de drenagem verifica-se grande assimetria, havendo contudo distinções entre os afluentes da margem esquerda e os da margem direita. Os afluentes da margem esquerda, geralmente, são curtos e dissecam vertentes íngremes e abruptas e nascem no topo dos rebordos erosivos. Enquanto que os da margem direita drenam encostas mais longas e suaves e tem suas nascentes, freqüentemente, no planalto do Distrito Federal ou em seus patamares que formam o divisor entre as bacias dos rios São Bartolomeu e Corumbá de Goiás. Somente ao redor do Domo de Cristalina é que seus tributários da margem esquerda tornam-se mais extensos. As redes de drenagem são fortemente condicionadas pelas falhas de empurrão, falhas normais e fraturas dos Grupos Canastra e Bambuí (Silva, 2003).

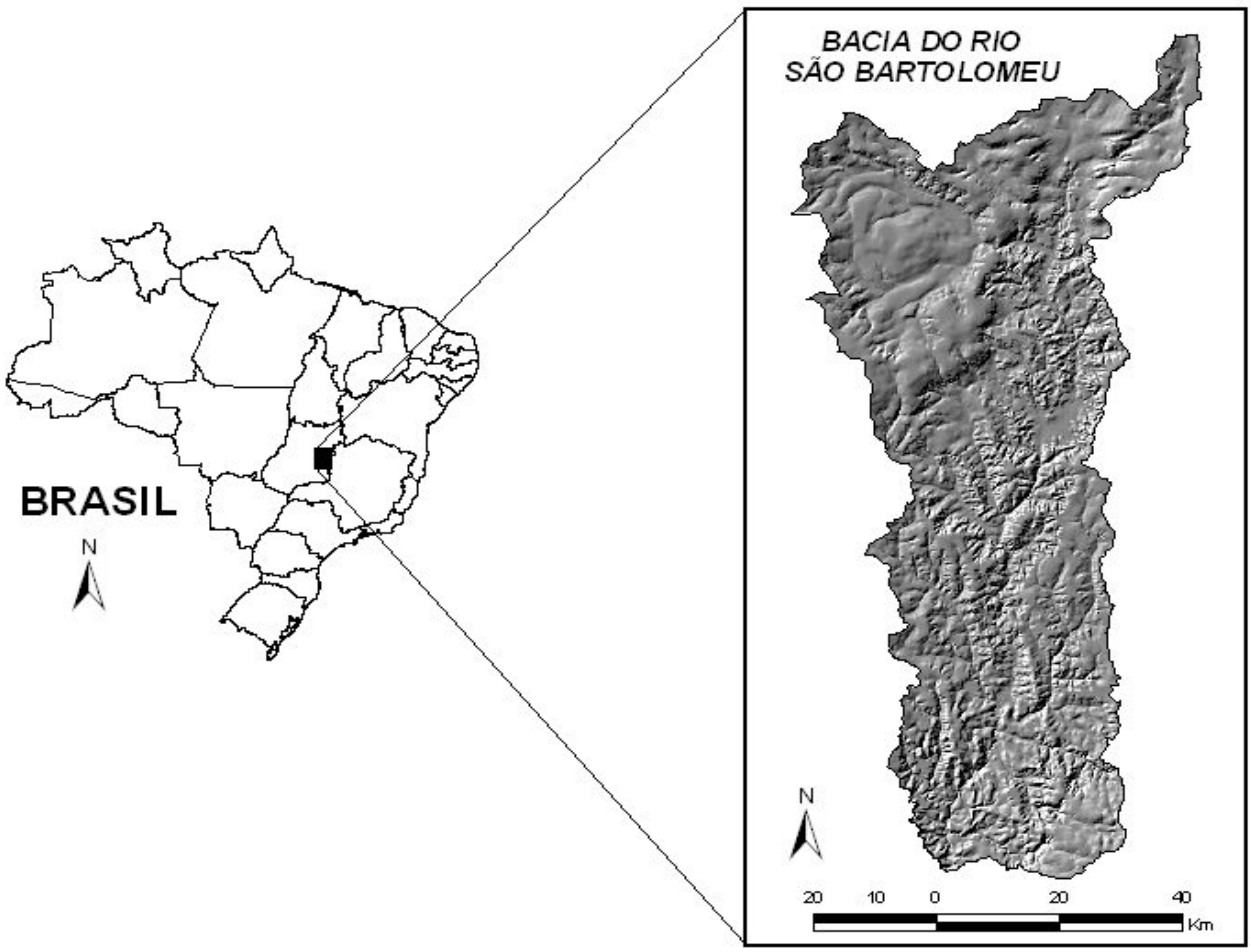

Figura 1 – Mapa de localização

MÉTODOS e TÉCNICAS

Na realização deste trabalho foram utilizados os seguintes dados: (a) cartas topográficas com curvas de nível, pontos cotados e hidrografia, disponibilizadas pelo Centro de Cartografia Automatizada do Exército (CeCAuEx), na escala de 1:100.000, e (b) SRTM da U.S. Geological Survey (USGS) com resolução de aproximadamente 90 metros. A metodologia adotada pode ser subdividida em três etapas: (a) confecção do MDT a partir de cartas topográficas; (b) confecção do MDT a partir dos dados SRTM, e (c) comparação entre os MDTs pela subtração.

A - Confecção do MDT a partir de cartas topográficas

Para essa área foi confeccionado um MDT a partir das cartas topográficas em base digital da CeCAuEx, na escala de 1:100.000, com eqüidistância das curvas de nível de 50 metros. Como alguns dados estavam incompletos e/ou defeituosos foi necessário fazer uma edição das curvas, pontos cotados e hidrografia através do programa ArcView. A interpolação foi feita pelo modulo TOPOGRID do programa ArcInfo (ESRI, 1993) que combina as vantagens de uma interpolação local com uma interpolação global, apresentando um melhor resultado quando comparado a outros interpoladores (Guimarães, 2000).

Inicialmente foi feito um MDT prévio com o intuito de redirecionar o fluxo de drenagem. Após esse processo foi gerado um novo MDT (denominado TOPO) utilizando os dados referentes às curvas de nível, pontos cotados, rede hidrográfica e limite da bacia. A resolução da cela unitária (pixel) estabelecida para o MDT foi de 90m, a partir das curvas de nível com eqüidistância de 50 metros. O tamanho do pixel foi definido a partir dos dados SRTM

disponíveis para que se pudesse realizar uma análise comparativa entre os dois MDTs. As cartas topográficas por estarem em fusos diferentes foram transformadas para a projeção conforme de Lambert.

B - Confecção do MDT a partir dos dados SRTM

O modelo SRTM foi transferido diretamente da página da USGS. O arquivo original, em formato HEIGHT (hgt) foi transformado em formato ASCII no programa ArcInfo e depois em formato x, y e z no programa ArcView e colocado também na projeção conforme Lambert.

O MDT do SRTM não apresentou valores muitos discrepantes (picos e vórtices) ou falta de dados. Um novo MDT foi gerado para retirar os ruídos de pequena magnitude. Para tanto foi gerado, no programa ArcView, curvas de nível com a mesma eqüidistância das cartas (50 metros), e estas foram interpoladas pelo TOPOGRID, no ArcInfo, preservando a cela unitária de 90 metros.

Ao realizar tal procedimento verificou-se que nas regiões próximas a corpos d'água houve o soerguimento da altimetria, tornando-se necessário gerar uma hidrografia para corrigir esse erro. No propósito de diminuir a diferença de elevação foi confeccionado um outro MDT, denominado de SRTM Interpolado, com as curvas de nível e rede de drenagem. Depois de gerada a hidrografia realizou-se o redirecionamento do fluxo, o mesmo processo descrito acima, e confeccionado um novo MDT.

C - Comparação entre os MDTs

Nessa etapa foi feita a subtração entre os MDTs: (a) MDT SRTM original menos o MDT a partir das cartas topográficas (TOPO) para verificar as áreas de maior discrepâncias altimétricas entre os modelos, e (b) MDT SRTM Interpolado menos TOPO.

Após as subtrações, os dados de todos os modelos foram ordenados em classes com variação de 20m com finalidade de obter uma melhor identificação das áreas onde ocorrem maior variação e as discrepâncias altimétricas. Além da análise visual foram elaboradas análises quantitativas representadas por gráficos e tabelas.

RESULTADOS

As figuras 2 e 3 comparam os MDTs TOPO, SRTM original e SRTM Interpolado. O MDT SRTM original não apresenta picos nem vórtices acentuados como também não possui células sem dados. Através das análises visuais e quantitativas nota-se que o MDT SRTM original apresenta relevo exageradamente acidentado, onde os rios se apresentam mais encaixados e as regiões altas mais proeminentes.

A interpolação do SRTM permite uma melhor definição dos rios e corpos d'água o que possibilita a melhoria da informação das regiões de menor altitude (figura 2). Deste modo, o MDT SRTM Interpolado se assemelha com os dados do MDT gerado pela carta topográfica. Cabe salientar que a interpolação do SRTM gera uma suavização da topografia podendo distorcer a realidade. Além disso, a confecção da rede de drenagem para melhorar as discrepâncias nos corpos d'água possibilita a geração de um MDT mais fidedigno.

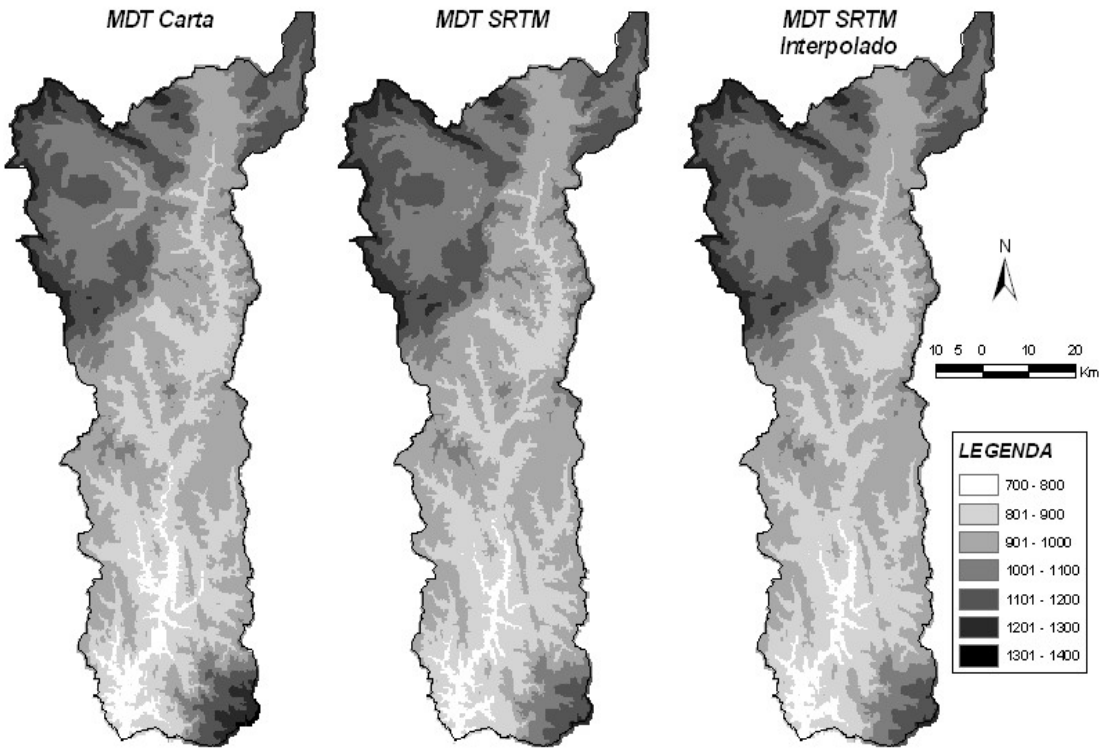

Figura 2 – Os diferentes MDTs com suas variações altimétricas.

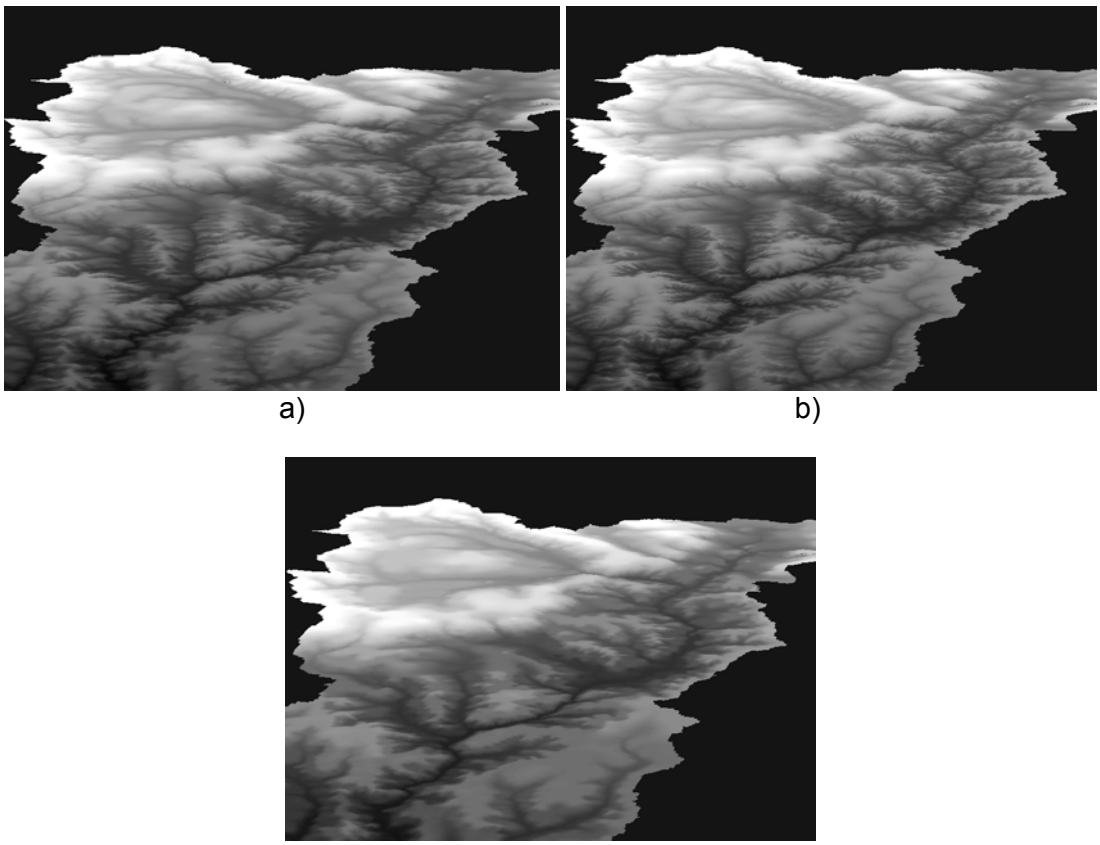

Figura 3 - Recorte dos MDTs em 3 dimensões (a: MDT TOPO; b: MDT SRTM Original; c: MDT SRTM Interpolado).

A subtração dos MDTs permite identificar as áreas de maior discrepâncias altimétricas entre os modelos determinando a localização desses pixels em toda a bacia (quadro 1).

Quadro 1 – Distribuição dos pixels em classes pré-estabelecidas.

Número de classes	Classes (m)	SRTM - TOPO		SRTM Interp.-TOPO	
		Nº pixels	Freq.(%)	Nº pixels	Freq.(%)
1	< -80	5.600	0,85	7.632	1,16
2	-80 - -40	21.296	3,23	27.980	4,26
3	-40 - -20	33.127	5,03	32.003	4,87
4	-20 - 0	153.960	23,38	185.093	28,18
5	0 - 20	352.831	53,58	311.485	47,42
6	20 - 40	80.511	12,23	83.825	12,76
7	40 - 80	10.783	1,64	8.620	1,31
8	> 80	385	0,06	160	0,02

A diferença altimétrica entre os modelos SRTM e TOPO atinge 175 metros, enquanto que entre o SRTM Interpolado e o TOPO não passa de 146 metros. Na imagem diferença SRTM – TOPO entre 40 a 80 metros existem 10.783 pixels (1,64%). Em contraposição, a diferença altimétrica máxima entre o SRTM Interpolado e o TOPO é de 146 metros, e nas classes 7 e 8 houve a diminuição do número de pixels, 8.620 (1,31%) e 160 (0,02%), respectivamente (figura 4 e quadro 1).

Na imagem diferença SRTM – TOPO (figura 4) os pixels se concentram majoritariamente na classe 5 (53,58%), ou seja, o modelo SRTM apresenta grande parte de seus pixels com elevação igual ou menor que 20 metros em relação ao modelo TOPO (quadro 1). Com a interpolação dos dados SRTM esse percentual diminui, passou para 47,42%, e houve o aumento da classe 4, de 23,38% para 28,18%. Em outras palavras, ocorre uma dispersão dos pixels quanto aos valores de elevação. O resultado é um modelo com feições mais próximas do MDT TOPO (Figura 4).

Tanto no MDT SRTM original como no MDT SRTM Interpolado a maioria dos pixels, 76,96% e 75,60%, respectivamente, estão posicionados nas classes 4 e 5. Contudo, ao analisar a distribuição desses pixels vemos que no SRTM Interpolado estão melhor distribuídos (Figura 4).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que o MDT SRTM, apesar de algumas limitações em comparação ao MDT TOPO, apresenta grande potencial em estudos geomorfológicos, em escalas regionais e áreas ainda não cartografadas. Porém, devido ao tamanho dos pixels de 90 metros os dados do SRTM têm limitação na escala, sendo seu uso recomedado a aplicação em nível regional.

A interpolação dos dados SRTM pela altimetria e hidrografia possibilita a suavização do relevo e a diminuição das diferenças altimétricas com o MDT TOPO. Frisamos que essa técnica deve ser utilizada com cautela, pois esta provoca uma suavização generalizada.

A subtração de modelos é um método rápido e eficaz de analisar as diferenças altimétricas. Através dessa técnica verifica-se a dispersão dos pixels quanto aos valores de elevação após a interpolação dos dados SRTM. Como resultado dessa análise descreve-se que as regiões com maior diferença entre as altitudes se concentram em regiões próximas ou sobre corpos d'água conforme os apresentados pelos estudos de Santos et al. (2005).

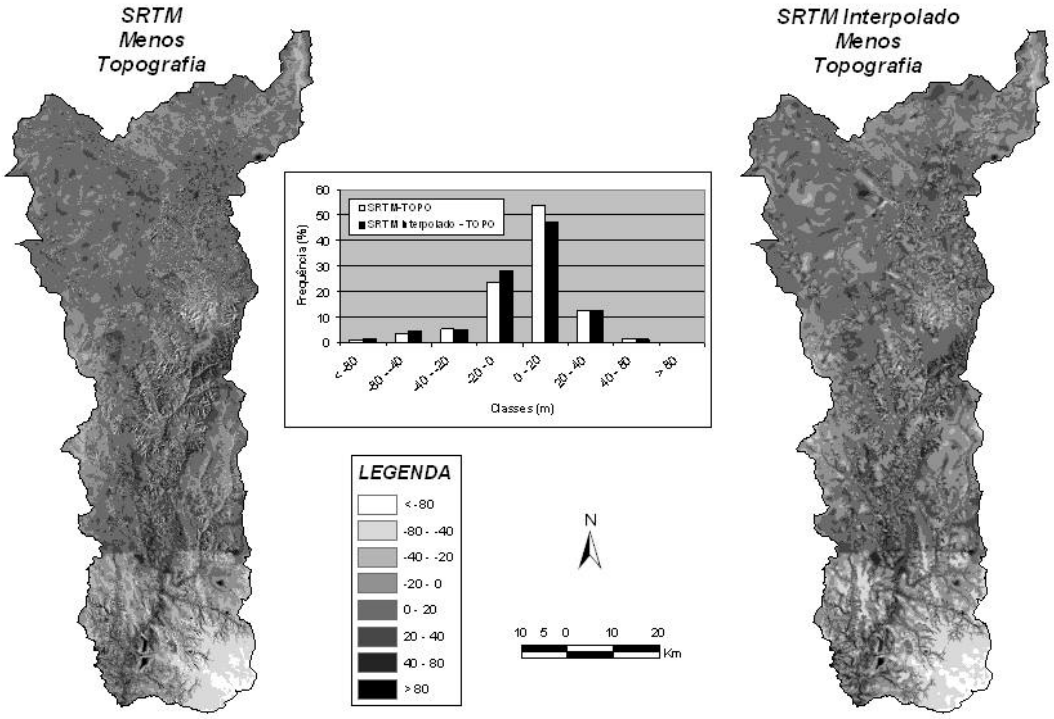

Figura 4- Subtração dos MDTs com tabela de distribuição dos pixels.

REFERÊNCIAS

Enviromental Systems Research Institute (ESRI). **Understanding GIS – The ARC/INFO Method..** New York: Wiley, 1993. 535p.

GOODCHILD, M. F., PARKS, B. O.; STEYAERT, L.T. **Environmental modeling with GIS**. New York: Oxford University Press, 1993.

GUIMARÃES, R. F. **Utilização de um modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos com controle topográfico: adequação e calibração em duas bacias de Drenagem**. Tese de Doutorado, IGEO/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000. 156p.

HARDISTY, J., TAYLOR, D. M.; METCALFE, S. E. **Computerized environmental modeling**. Chichester: John Wiley & Sons, 1993.

JARVIS, A; RUBIANO, J; NELSON, A.; FARROW, A.; MULLIGAN, M. **Practical use of SRTM data in the tropics: Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data**. Cali, CO: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2004. 32 p.

KAAB, A. Combination of SRTM3 and repeat ASTER data for deriving alpine glacier flow velocities in the Bhutan Himalaya. **Remote Sensing of Environment**. vol 94, 2005. p.463–474.

LU, Z; Rykhus, R.; Masterlark, T.; Dean; K. G.Mapping recent lava flows at Westdahl Volcano, Alaska, using radar and optical satellite imagery**. Remote Sensing of Environment**. vol 91, 2004. p.345–353.

MONTGOMERY, D. R.; SULLIVAN, K. e GREENBERG, H. M. Regional Test of a Model for Shallow Landslides. **Hydrological Processes**. vol. 12, 1998. p. 943-955.

NOVAES PINTO, M. Geomorfológica do Distrito Federal. In: **Cerrado; caracterização, perspectivas**. NOVAES PINTO (Org.). Brasília: Editora Universidade de Brasília, cap 9, p.284-344, 1993.

RABUS, B; EINEDER, M; ROTH, A; BAMLER, R. The suttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sesing**. vol.57, 2003. P.241-262.

RAMOS, V. M. **A Modelagem Matemática nos Estudos dos Movimentos de Massa: Aplicação de um Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis a Escorregamento Rasos na Área do Subúrbio Ferroviário de Salvador (BA).** Dissertação de Mestrado, IH/UnB, Brasília, 2003. 90p.

SANTOS, P. R. A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L. C. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia (GO). **Anais do XII SBSR**, São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4473-4480.

SILVA, C. R. **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno. Fase I**. / Coordenado por Cássio Roberto da Silva. – Rio de Janeiro: CPRM / EMBRAPA / SCO-MI, 2003.

SMITH,B. & SANDWELL, D. Accuracy and resolution of shuttle radar topography mission data. **Geophysical Research Letters**. vol 30, n.9 2003.

USGS – United States Geological Survey. Site oficial: http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html. Acessado em: 15/04/2005.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul.** São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p. 2004 (Boletim).

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia (GO). **Anais do XII SBSR**, São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3595-3602.

VAN ZYL, JJ. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): A breakthrough in remote sensing of topography. **Acta Astronautica.** Vol 48, 2001. 5-12p.

ZHANG, W. M. e MONTGOMERY, D. R. (1994) Digital Elevation Model Grid Size, Landscape Representation, Hydrologic Simulations. **Water Resources Research**, 30, pp.1019-1028.